



### III-272 - MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO BIOGÁS GERADO EM UM ATERRO SANITÁRIO EXPERIMENTAL

**Cícero Antonio Antunes Catapreta**

Eng. Civil, Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil

**Gustavo Ferreira Simões** <sup>(1)</sup>

Eng. Civil (UFMG), Mestre e Doutor em Engenharia Civil (PUC-Rio), Professor Associado do Depto. de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Escola de Engenharia da UFMG. Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia. Av. do Contorno, 842 – 6º andar – Sala 608 – Centro – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30.110-060 – Brasil – Tel: +55 (31) 3409-1792 – Fax: +55 (31) 3409-1793 – e-mail: [gustavo@etg.ufmg.br](mailto:gustavo@etg.ufmg.br)

#### RESUMO

Os gases gerados em aterros sanitários, mais conhecidos como biogás, são subprodutos da digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e são motivo de preocupação devido ao seu potencial poluidor. As estimativas de geração de gases em aterros sanitários ainda são realizadas de formas indiretas, na maioria das vezes, por meio de modelos matemáticos, os quais muitas vezes não levam em consideração diversos parâmetros e condições operacionais. A obtenção de dados de monitoramento da geração de biogás em aterros sanitário desde o início de sua operação, sempre que possível, é desejável. Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de um estudo que teve como foco avaliar a evolução temporal da qualidade do biogás gerado em um aterro sanitário experimental e sua relação com a evolução do comportamento dos resíduos sólidos domiciliares sob condições anaeróbias. Os resultados indicaram que o aterro encontra-se na fase metanogênica do processo de digestão anaeróbia e que, devido ao fato dos resultados serem semelhantes, que o processo de degradação ocorre de maneira uniforme em todo o aterro sanitário experimental. Observou-se também que o excesso de umidade e elevado nível de líquidos no interior do aterro experimental, aparentemente inibiu o processo de digestão anaeróbia no seu interior em diversos momentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos, Biogás, Aterro Sanitário,

#### INTRODUÇÃO

Os processos de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos no interior dos aterros sanitários produzem gases tóxicos, que além de prejudicar a saúde humana provocam impactos ao meio ambiente (Lins *et al*, 2005). Os principais gases gerados durante esses processos são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), mercaptanas dentre outros.

Esses gases são preocupantes do ponto de vista local (odores e efeitos sobre a saúde), regional e global (o metano contribui para o aumento do efeito estufa). A produção de metano em aterros municipais em todo o mundo representa de 5 a 15% do metano total lançado na atmosfera. Além disso, o metano é de 20 a 25 vezes mais efetivo que o CO<sub>2</sub>, na absorção da energia infravermelha, contribuindo significativamente para o aumento do efeito estufa.

A análise de gases gerados no processo de decomposição anaeróbia é importante, uma vez que se pode inferir, em conjunto com outros parâmetros (características físico-químicas dos líquidos lixiviados e da massa de resíduos), o grau de degradação ou estabilização dos resíduos orgânicos em um aterro sanitário. As concentrações dos gases podem também indicar o potencial de utilização destes para geração de energia.

Logo, visando entender melhor a formação desses gases em aterros sanitários, bem como de outros aspectos técnicos e operacionais, foi implantado em Belo Horizonte, MG, um aterro sanitário experimental, no qual foram dispostos resíduos sólidos domiciliares.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de um estudo que teve como foco avaliar a evolução temporal da qualidade do biogás gerado no aterro sanitário experimental e sua relação com a

evolução do comportamento dos RSU sob condições anaeróbias.

## MATERIAL E MÉTODOS

### • Aterro Experimental

O aterro experimental está localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da BR 040, em Belo Horizonte, Minas Gerais, e ocupa uma área de aproximadamente 5.262 m<sup>2</sup>. Esse aterro possui 3,8 m de altura e 71,50 m x 73,60 m de dimensões externas, enquanto que as internas são 51,80 m x 52,80 m. Foram dispostas cerca de 8.597 t (11.546 m<sup>3</sup>) de resíduos sólidos urbanos (RSU). Detalhes sobre a construção e instrumentação do aterro sanitário experimental encontram-se descritas em Catapreta (2008). A Figura apresenta uma vista geral do aterro experimental e a Figura 2, a localização dos drenos de biogás.



Figura 1 - Vista geral do Aterro Experimental

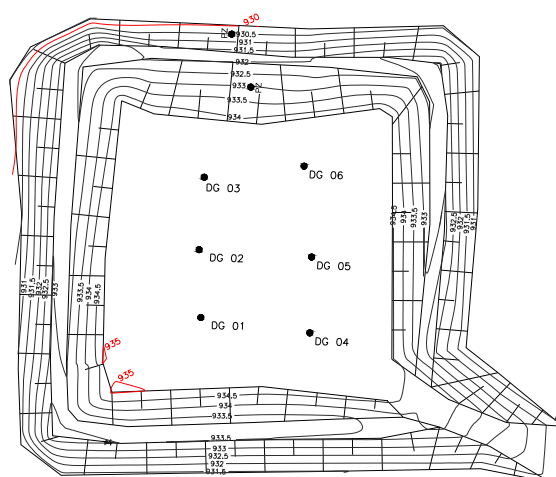


Figura 2 - Localização dos drenos de gás

### • Resíduos Dispostos no Aterro Experimental

A composição gravimétrica média dos resíduos sólidos domiciliares dispostos no aterro experimental foi: 62% de matéria orgânica; 10% de papel e papelão; 11% de plásticos; 2% de metais; 3% de vidros; 3% de resíduos de construção e demolição – RCD; 1% de espuma, borracha e cerâmica; 4% de madeiras, têxteis e couro e 5% de outros materiais. A umidade média dos resíduos foi de 60%, em base úmida.

### • Monitoramento do Biogás

O monitoramento dos gases foi realizado de forma qualitativa, através da medida de sua composição estequiométrica, tendo sido monitorados os teores de oxigênio (O<sub>2</sub>) e os gases metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principais gases gerados no processo de digestão anaeróbia dos RSU.

A frequência das leituras, em média, foi quinzenal, tendo sido o monitoramento iniciado em outubro de 2005 e estendido até setembro de 2008. As leituras da composição dos gases gerados foram realizadas diretamente nos 6 (seis) drenos implantados, e foi utilizado um equipamento portátil *GMI Landsurveyor 2* para a leitura dos gases (Figuras 3 e 4).



**Figura 3 – Equipamento utilizado para realização das leituras de concentração de biogás**



**Figura 4 – Realização de leitura direta nos drenos de biogás**

Na Tabela 1 é apresentada a precisão do equipamento utilizado para mensurar a composição qualitativa do biogás.

**Tabela 1 – Precisão do equipamento utilizado para mensurar a concentração do biogás.**

Gás	Faixa (%)	Precisão
Metano (CH <sub>4</sub> )	0 – 5	Máx (+/- 10% da leitura ou 0,25%)
	5 – 50	Máx (+/- 10% da leitura ou 1,0%)
	50 – 100	5,0% da leitura
Carbônico (CO <sub>2</sub> )	0 – 5	Máx (+/- 10% da leitura ou 0,25%)
	5 – 30	Máx (+/- 10% da leitura ou 1,0%)
	30 – 100	6% da leitura
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0 – 30	0,5%

## RESULTADOS

A Tabela 2 e a Figura 5 apresentam a evolução da concentração do gás metano, dióxido de carbono e oxigênio observado nos drenos do aterro sanitário experimental. Os resultados referem-se a um período de monitoramento de 1200 dias (~3,3 anos). São também apresentadas na Figura 5 a precipitações observadas no período.

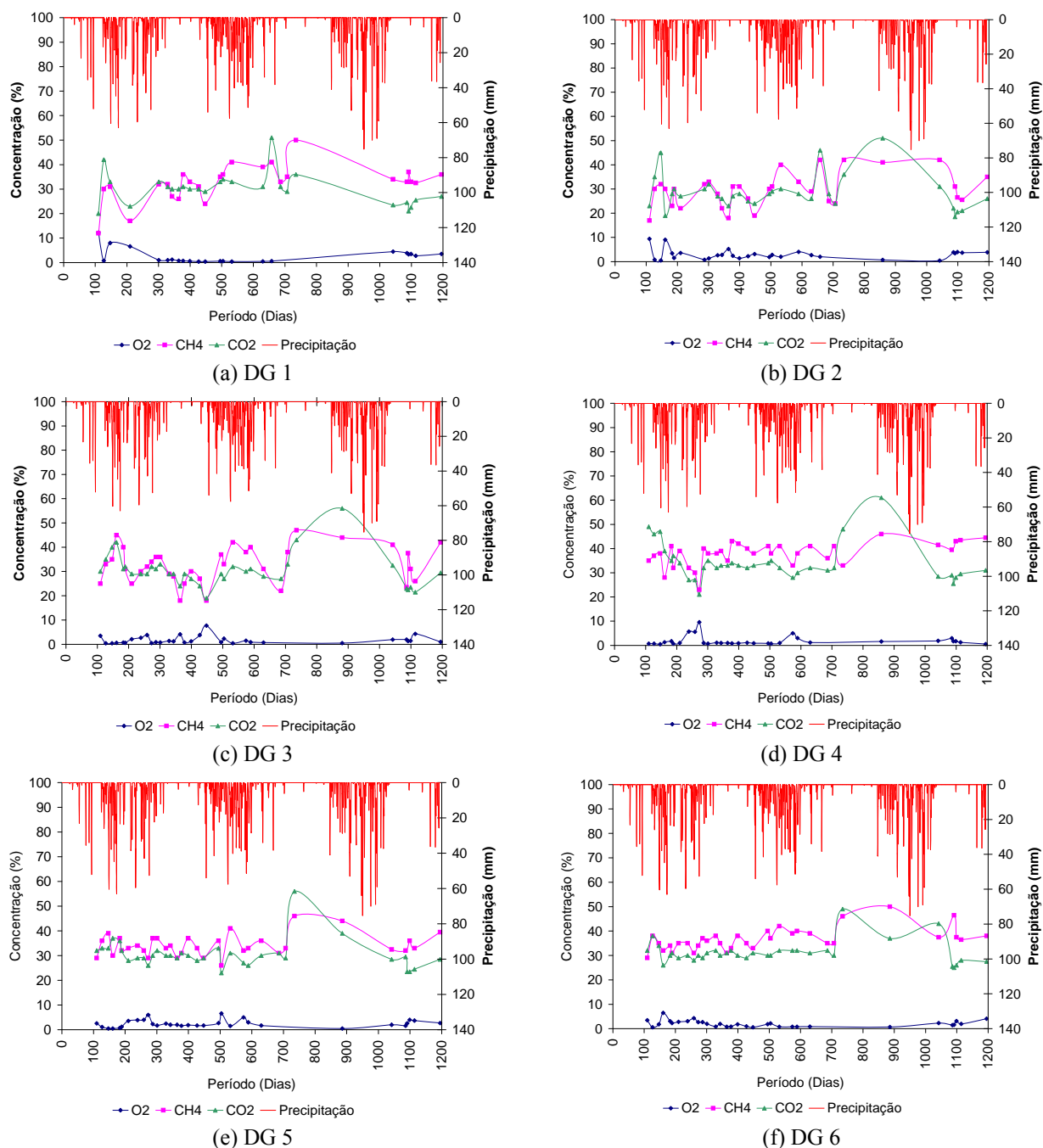
Devido ao fato de não se ter monitorado a concentração do biogás desde o instante inicial, não foi possível verificar o incremento desses gases até a realização da primeira leitura. Observa-se que, nos períodos em que foi possível mensurar a concentração dos gases, uma predominância do metano e dióxido de carbono, indicando um possível processo de metanização dos resíduos dispostos.

Em alguns momentos se observaram elevados teores de oxigênio, que provavelmente foram ocasionados pela infiltração de águas de chuva e/ou ar atmosférico pelas trincas observadas na camada de cobertura. Para minimizar este viés e tentar eliminar esta possível influência, foi realizada recomposição da camada de cobertura, nesses pontos, por meio do tamponamento das trincas com o mesmo material argiloso empregado na construção da camada de cobertura.



**Tabela 2 – Resultados das análises estequiométricas do biogás gerado**

Dias	DG 01			DG 02			DG 03			DG 04			DG 05			DG 06		
	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
110	12,2	12,0	20,0	9,4	17,0	23,0	3,5	25,0	30,0	0,7	35,0	49,0	2,6	29,0	32,0	3,5	29,0	32,0
127	0,8	30,0	42,0	0,8	30,0	35,0	0,4	33,0	35,0	0,7	37,0	46,0	1,1	36,0	33,0	0,6	38,0	38,0
147	8,0	31,0	33,0	0,5	32,0	45,0	0,4	35,0	40,0	0,5	38,0	47,0	0,5	39,0	33,0	1,8	35,0	34,0
161	20,6	0,8	1,4	9,0	30,0	19,0	0,6	45,0	42,0	1,3	28,0	39,0	0,5	30,0	37,0	6,5	32,0	26,0
183	20,8	0,0	0,3	3,4	23,0	28,0	0,7	40,0	31,0	1,7	41,0	35,0	0,7	37,0	36,0	3,1	34,0	30,0
189	20,9	0,0	0,2	1,5	30,0	30,0	0,6	31,0	32,0	0,7	32,0	37,0	1,2	32,0	32,0	2,3	31,0	31,0
210	6,6	17,0	23,0	3,6	22,0	27,0	2,1	25,0	29,0	1,0	39,0	34,0	3,6	33,0	28,0	2,8	35,0	29,0
239	20,5	0,0	0,9	18,9	4,1	5,0	2,7	30,0	29,0	5,7	32,0	27,0	3,9	34,0	29,0	3,1	35,0	30,0
259	-	-	-	-	-	-	3,8	32,0	29,0	5,6	30,0	27,0	4,0	32,0	29,0	4,3	31,0	28,0
273	-	-	-	-	-	-	0,5	34,0	32,0	9,6	23,0	21,0	6,0	29,0	26,0	2,7	34,0	30,0
287	18,9	3,5	5,0	0,8	32,0	30,0	0,9	36,0	31,0	1,0	40,0	32,0	2,3	37,0	30,0	2,7	37,0	29,0
301	1,0	32,0	33,0	1,3	33,0	32,0	0,8	36,0	33,0	0,7	38,0	35,0	1,7	37,0	32,0	2,0	36,0	31,0
329	1,0	32,0	31,0	2,6	28,0	27,0	1,4	29,0	29,0	1,1	38,0	32,0	2,5	33,0	30,0	0,9	38,0	32,0
343	1,2	27,0	30,0	2,8	22,0	26,0	1,2	28,0	29,0	1,0	39,0	33,0	2,0	34,0	30,0	2,0	35,0	30,0
364	0,8	26,0	30,0	5,2	18,0	23,0	4,1	18,0	24,0	1,0	35,0	33,0	2,0	29,0	29,0	0,8	31,0	31,0
378	0,7	36,0	31,0	2,4	31,0	27,0	0,8	25,0	29,0	0,8	43,0	34,0	1,6	31,0	31,0	0,9	33,0	32,0
399	0,6	33,0	30,0	1,4	31,0	28,0	1,2	30,0	27,0	0,9	42,0	33,0	1,9	37,0	30,0	1,8	38,0	30,0
427	0,4	31,0	30,0	2,2	26,0	25,0	3,8	27,0	24,0	1,1	40,0	32,0	1,7	33,0	28,0	1,0	35,0	29,0
448	0,4	24,0	29,0	3,1	19,0	24,0	7,7	18,0	19,0	0,9	38,0	33,0	1,7	29,0	29,0	0,6	33,0	31,0
495	0,6	35,0	33,0	1,9	30,0	28,0	0,9	37,0	29,0	0,8	41,0	34,0	2,7	36,0	33,0	1,9	40,0	30,0
504	0,6	36,0	34,0	2,8	31,0	29,0	2,3	33,0	27,0	0,7	38,0	35,0	6,6	26,0	23,0	2,2	37,0	30,0
532	0,4	41,0	33,0	2,0	40,0	30,0	0,4	42,0	32,0	1,0	41,0	32,0	1,5	41,0	31,0	0,8	42,0	32,0
574	-	-	-	-	-	-	1,5	38,0	30,0	5,0	33,0	28,0	5,0	32,0	27,0	0,8	39,0	32,0
589	-	-	-	4,0	33,0	28,0	0,9	40,0	31,0	3,0	38,0	30,0	3,0	33,0	26,0	0,8	40,0	32,0
658	0,6	41,0	51,0	2,0	42,0	46,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
630	0,5	39,0	31,0	2,7	29,0	26,0	0,7	31,0	28,0	1,2	41,0	32,0	1,7	36,0	30,0	0,9	39,0	31,0
686	-	33,0	31,0	-	25,0	28,0	-	22,0	27,0	-	36,0	31,0	-	31,0	31,0	-	35,0	32,0
707	-	35,0	29,0	-	24,0	24,0	-	38,0	33,0	-	41,0	32,0	-	33,0	29,0	-	35,0	30,0
735	-	50,0	36,0	-	42,0	36,0	-	47,0	43,0	-	33,0	48,0	-	46,0	56,0	-	46,0	49,0
859	-	-	-	0,7	41,0	51,0	-	-	-	1,6	46,0	61,0	-	-	-	-	-	-
881	-	-	-	-	-	-	0,5	44,0	56,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
886	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	44,0	39,0	0,7	50,0	37,0
1.042	4,5	34,0	23,5	0,4	42,0	31,0	2,0	41,0	32,5	1,9	41,5	28,5	2,0	32,5	28,5	2,3	37,5	43,0
1.086	3,9	33,0	24,5	3,9	74,5	22,0	2,0	23,5	23,0	3,0	39,5	29,0	1,6	32,0	29,5	1,5	83,5	25,5
1.091	3,4	37,0	21,0	3,5	31,0	18,5	1,4	37,5	22,5	1,7	56,5	25,5	2,6	48,5	23,5	1,6	46,5	25,0
1.099	3,5	33,0	22,5	4,0	26,5	20,5	1,5	31,0	23,5	1,7	43,0	28,0	4,0	36,0	23,5	3,2	37,5	26,0
1.114	2,8	32,5	25,5	3,7	25,5	21,0	4,3	26,0	21,5	1,3	43,5	29,5	3,7	33,0	24,5	2,0	36,5	28,0
1.189	3,6	36,0	27,0	3,9	35,0	26,0	1,0	42,0	29,5	0,6	44,5	31,0	2,7	39,5	28,5	4,1	38,0	27,5



**Figura 5 - Evolução da concentração de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>**

É apresentada a seguir uma análise dos resultados obtidos em cada dreno.

#### **Dreno DG 01**

As concentrações observadas no período do monitoramento variaram entre 0,80 % e 50,0 % para CH<sub>4</sub>, com média de 30,39 %, e 0,20 % a 51,0 % para CO<sub>2</sub>, com média de 25,54 %. O oxigênio ficou, em média, em torno de 5,70 %, com uma concentração máxima de 20,90 % e mínima de 0,4 % ao longo do período monitorado. As baixas concentrações verificadas nas leituras iniciais podem estar indicando uma dinâmica de reação mais lenta nesse ponto, que poderia estar relacionada ao elevado nível de líquidos no interior do aterro sanitário experimental verificado na região próxima a este dreno.





Como as leituras iniciaram-se durante o primeiro período chuvoso (setembro/2005 a março/2006), estando o nível de líquidos no interior do Aterro Sanitário Experimental elevado, os resultados sugerem que houve uma inibição do processo neste ponto.

O valor do nível de líquidos nesse ponto, no mês de dezembro de 2005, estava a 0,40 m do topo do aterro, segundo as leituras realizadas, indicando, aparentemente, quase que uma saturação total da massa de resíduos.

Geralmente, nota-se que nos períodos chuvosos, e após os mesmos, foram observadas elevações nas concentrações dos gases gerados, pois se espera que nesta época a umidade dos RSU aumente, exercendo influência direta sobre a geração de gases no interior do aterro, devido ao aumento da atividade microbológica em seu interior.

No entanto, a afirmação anterior não considera a saturação da massa de resíduos, como aparentemente ocorreu no aterro sanitário experimental, levando a uma possível inibição do meio. As leituras seguintes passaram a indicar concentrações mais elevadas de metano e dióxido de carbono, em detrimento do oxigênio, que se apresentava elevado inicialmente.

#### ***Dreno DG 02***

O monitoramento da evolução das concentrações de gases neste ponto apresentou comportamento um pouco semelhante ao DG 01, com valores de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  variando bastante. Os valores das concentrações de  $\text{O}_2$  apresentaram-se elevadas no início do monitoramento, reduzindo-se ao longo do período de monitoramento.

Considerando todo o período de monitoramento desse ponto, as concentrações observadas apresentaram valores que variaram entre 4,10 % e 74,75 % para  $\text{CH}_4$  (com uma leitura atípica de 4,1 %), com média de 30,29 %, e 5,0 % a 51,0 % (com uma leitura atípica de 5,0 %) para  $\text{CO}_2$ , com média de 27,85 %. O oxigênio ficou, em média, em torno de 3,47 %, com uma concentração máxima de 9,4 %, observada no início do monitoramento (com uma leitura atípica de 18,9 %), e mínima de 0,4 %.

Os resultados sugerem, assim como para o DG 01, que um processo de metanização já se encontra em curso nessa região do aterro sanitário experimental. Observa-se, no entanto, que a concentração de  $\text{O}_2$  neste ponto é menor que no anterior (DG 01), quando comparado com os dos demais gases mensurados.

A avaliação deste ponto também foi prejudicada devido ao fato do monitoramento ter-se iniciado após o 100º dia do término da aterragem de resíduos e pelo elevado nível de líquidos no interior do aterro, como mencionado anteriormente.

#### ***Dreno DG 03***

O resultado do monitoramento de gases nesse ponto indicou comportamento semelhante aos pontos comentados anteriormente, porém as primeiras leituras já indicavam concentrações de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  mais elevadas que os demais pontos.

As concentrações observadas apresentaram valores que variaram entre 18,0 % e 47,0 % para  $\text{CH}_4$ , com média de 32,86 %, e 19,0 % a 56,0 % para  $\text{CO}_2$ , com média de 30,36 %. O oxigênio ficou, em média, em torno de 1,76 %, com uma concentração máxima de 7,70 % e mínima de 0,4 % ao longo do período monitorado.

Entretanto, como pode ser observado na Figura 5(c), os resultados sugerem que nos períodos chuvosos as concentrações de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  diminuíram e  $\text{O}_2$  aumentou, o que pode ser indicativo da influência da saturação da massa de resíduos pelas águas de chuva que podem ter adentrado a massa de resíduos, que acabou por inibir o processo de digestão anaeróbia, assim como no DG 01 e 02.

#### ***Dreno DG 04***

A concentração de gases mensurada nesse ponto apresentou comportamento diferente, tendo sido observadas elevadas concentrações de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  no início do monitoramento seguido de uma tendência de decréscimo e posterior elevação das concentrações desses gases.



As concentrações observadas apresentaram valores que variaram entre 23,0 % e 56,5 % para CH<sub>4</sub>, com média de 38,41 %, e 21,0 % a 61,0 % para CO<sub>2</sub>, com média de 34,1 %. O oxigênio ficou, em média, em torno de 1,85 %, com uma concentração máxima de 9,6 % e mínima de 0,5 % ao longo do período monitorado.

#### **Dreno DG 05**

Os gases mensurados nesse ponto apresentaram comportamento mais uniforme, variando pouco. Os resultados sugerem que o estágio de degradação dos resíduos nesse ponto pode ter atingido a fase metanogênica estável do processo de digestão anaeróbia de RSU. Não se observou a influência de fatores externos, como as condições climáticas.

As concentrações observadas apresentaram valores que variaram entre 26,0 % e 48,5 % para CH<sub>4</sub>, com média de 34,59 %, e 23,0 % a 56,0 % para CO<sub>2</sub>, com média de 30,49 %. O oxigênio ficou, em média, em torno de 2,47 %, com uma concentração máxima de 6,60 % e mínima de 0,5 % ao longo do período monitorado.

#### **Dreno DG 06**

Esse ponto apresentou comportamento semelhante ao DG 05, tendo os gases monitorados apresentados concentrações semelhantes e mais estáveis. As concentrações observadas apresentaram valores que variaram entre 26,0 % e 83,5 % para CH<sub>4</sub> (com uma leitura atípica de 83,5 %) com média de 31,23 %, e 25,0 % a 49,0 % para CO<sub>2</sub>, com média de 31,46 %. O oxigênio ficou, em média, em torno de 2,07 %, com uma concentração máxima de 6,50 % e mínima de 0,6 % ao longo do período monitorado.

### **CONCLUSÕES**

Analisando os resultados do comportamento dos gases gerados no aterro sanitário experimental em conjunto com os dados físico-químicos dos líquidos lixiviados, nota-se que os mesmos sugerem que a fase metanogênica do processo de digestão anaeróbia dos resíduos foi atingida, desde o início do monitoramento de gases ( $\approx 100^{\text{º}}$  dia), uma vez que se verificaram elevadas concentrações de metano e dióxido de carbono. No entanto, as concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> verificadas estão abaixo do esperado, que seria em torno de 40 a 45% para cada gás monitorado, assim como as curvas observadas não se aproximam daquelas descritas no modelo conceitual de Pohland & Harper (1985). Tal fato também poderia estar relacionado com a precisão do equipamento, que poderia estar influenciando as leituras.

Pelos resultados apresentados, pode-se observar que as concentrações dos gases gerados são semelhantes podendo-se supor que o processo de formação de gás baseado na digestão anaeróbia dos resíduos no interior do aterro acontece de forma semelhante em toda a massa de resíduos disposta. No entanto, deve-se considerar que foram verificadas algumas variações nas concentrações de gases em alguns dos pontos no início do monitoramento, indicando que poderia ter corrido uma maior concentração de gases, principalmente, nos pontos DG 04, 05 e 06, que apresentaram maiores valores de concentração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> e uma maior uniformidade das curvas de geração obtidas.

A infiltração de águas de chuva com teores de oxigênio dissolvido elevado pode ter contribuído para o aumento dos teores de oxigênio em algumas medições realizadas, principalmente no segundo período de chuvas.

Aparentemente o nível de líquidos e, consequentemente, o teor de umidade dos resíduos no interior do aterro sanitário experimental parece influenciar a concentração de gases. Nos drenos DG 01 e DG 02, pode-se observar mais claramente esse fato, pois apresentaram comportamento diferenciado em períodos em que o nível de líquidos apresentava-se elevado, o que pode ter prejudicado ou inibido o processo de digestão anaeróbia nessa região do aterro, não tendo sido verificado nenhum outro fato que pudesse ter contribuído para isto. Ressalta-se que, embora existam estudos sobre a influência do teor de umidade dos resíduos nos processos de digestão anaeróbia, em aterros sanitários operando em escala real a literatura não apresenta resultados contínuos do monitoramento desse teor de umidade, que neste trabalho foi inferido a partir do registro sistemático no nível de líquidos no interior do aterro sanitário experimental.

Outro aspecto que vem sendo estudado no aterro sanitário experimental, diz respeito à migração de gases pela sua camada de cobertura (Fernandes, 2009). Este estudo vem sendo realizado utilizando a técnica da placa de fluxo, o que permite determinar as taxas de emissão de gases em diferentes pontos do aterro.



Estudos tendo como finalidade avaliar este fluxo de gases nas camadas de revestimento de aterros sanitários têm despertado interesse na área ambiental, segundo Alcântara (2007), devido à possibilidade de migração dos gases que são gerados nessas unidades para áreas adjacentes às mesmas. A possibilidade de migração de gases por essas camadas e alcance de áreas vizinhas a aterros também é relatada por Martín *et. al.* (2001) e Tchobanoglous *et. al.* (1993).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Catapreta, C. A. A. (2008) Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação. Belo Horizonte: EE-UFMG, 2003. 316 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 2 Fernandes, J.G. (2009) Estudo da emissão de biogás em um aterro sanitário experimental. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 3 Lins, E. A. M; Maciel, F. J.; Jucá, J. F. T.; Brito, A. R.; ALVES, I. R. F. S. (2005) Avaliação da insalubridade causada pelo biogás de um aterro de resíduos sólidos urbanos. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS...Anais: Rio de Janeiro, ABES.
- 4 Martín, S.; Marañon, E.; Sastre, H. (2001) Mathematical modeling of landfill gas migration in MSW sanitary landfills. In: Waste Management & Research, v. 19, n. 5, pp. 425 – 435.
- 5 Pohland, F. G.; Harper, S. R. (1985) Critical review and summary of leachate and gas production from landfill. Cincinnati, OH: USEPA, 212 p.
- 6 Tchobanoglous, G.; Thiesen, H.; VIGIL, S. A.. (1993) Integrated solid waste management - engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill International Editions, 978 p.